昆虫学报 *Acta Entomologica Sinica*, October 2014, 57(10): 1206 – 1212　　ISSN 0454-6296

温度和光周期对管侧沟茧蜂滞育诱导及滞育茧的低温冷藏

路子云[1]，冉红凡[1]，刘文旭[1]，屈振刚[1]，刘小侠[2]，李建成[1,*]，张青文[2,*]

(1. 河北省农林科学院植物保护研究所，农业部华北北部作物有害生物综合治理重点实验室，河北省农业有害生物综合防治工程技术研究中心，河北保定 071000；2. 中国农业大学农学与生物技术学院，北京 100193)

摘要：【目的】为明确诱导管侧沟茧蜂 *Microplitis tuberculifer* 滞育的主要因子，在田间和室内研究了不同温度和光周期下管侧沟茧蜂的滞育率和滞育茧的最佳冷藏温度。【方法】田间实验分别从 8 月 31 日到 9 月 25 日每隔 5 d 在室外罩笼内释放管侧沟茧蜂寄生的粘虫幼虫，待寄生蜂结茧后统计子代蜂的滞育率。室内实验共设 5 个不同温度(16℃，18℃，20℃，22℃和 24℃)和 7 个不同光周期(6L∶18D，8L∶16D，10L∶14D，12L∶12D，14L∶10D，16L∶8D 和 18L∶6D)，分别统计寄生蜂在各个处理条件下的滞育率。【结果】在河北中部地区秋季自然条件下，8 月底当日平均气温为 24.4℃，日平均光照时间为 12 h 51 min 时，少数蛹(5.08%)开始进入滞育；9 月 25 日，当日平均气温为17.2℃，日平均光照时间为 11 h 36 min 以下时，几乎所有蛹个体进入滞育，滞育率达到 99.70%。在室内人工控制条件下，当温度为 22℃以上，无论光周期如何变化，管侧沟茧蜂不能进入滞育，所结茧全部为非滞育茧。温度为 22℃以下存在光周期反应，在温度 16℃，18℃和 20℃，光周期 10L∶14D 时形成滞育茧数量最多，滞育率分别为 100%，89.75% 和 29.58%。可见温度和光周期二者共同影响管侧沟茧蜂的滞育。滞育茧在 0℃左右条件下冷藏 240 d 和 5℃左右环境条件下冷藏 180 d，成虫的羽化率和寄生能力与发育茧差异不显著($P>0.05$)；0℃条件下冷藏 300 d，滞育茧仍有 79% 可以正常羽化。【结论】该寄生蜂在秋季进入滞育主要是低温条件和短光照反应相互作用的结果，滞育茧在 0℃和 5℃温度下至少可以保存 240 d。这些结果对管侧沟茧蜂的大规模繁殖和滞育茧的保存具有重要参考价值。

关键词：管侧沟茧蜂；滞育；滞育诱导；光周期；温度；冷藏

中图分类号：Q968　　**文献标识码：**A　　**文章编号：**0454-6296(2014)10-1206-07

Effects of photoperiod and temperature on diapause induction in *Microplitis tuberculifer* (Hymenoptera: Braconidae) and the cold storage of its diapause pupae

LU Zi-Yun[1], RAN Hong-Fan[1], LIU Wen-Xu[1], QU Zhen-Gang[1], LIU Xiao-Xia[2], LI Jian-Cheng[1,*], ZHANG Qing-Wen[2,*] (1. Key Laboratory of Integrated Pest Management on Crops in Northern Region of North China, Ministry of Agriculture, IPM Center of Hebei Province, Institute of Plant Protection, Hebei Academy of Agricultural and Forestry Sciences, Baoding, Hebei 071000, China; 2. College of Agronomy and Biotechnology, China Agricultural University, Beijing 100193, China)

Abstract:【Aim】In order to study what factors impact the diapauses of *Microplitis tuberculifer*, the effect of temperature and photoperiod on diapause induction and storage condition of diapause cocoons of *M. tuberculifer* were studied in the field during the late summer and in the laboratory.【Methods】The diapause rates of *M. tuberculifer* were investigated in the field cages when the parasitized host larvae were released into the cages every 5 days from August 31 to September 25 and in the laboratory under the conditions of five temperatures (16, 18, 20, 22 and 24℃) and seven photoperiods (6L∶18D, 8L∶16D, 10L∶14D, 12L∶12D, 14L∶10D, 16L∶8D and 18L∶6D).【Results】The field tests in the central of Hebei Province showed that when the average daily temperature was 24.4℃ and the average daylength was 12 hours and 51 minutes, only a few of *M. tuberculifer* pupae (5.08%) entered diapause; and when the average daily temperature was below 17.2℃ and the average daylength was shorter than 11 hours and 36 minutes, almost all of *M. tuberculifer* pupae (99.70%) entered diapause. No diapause was observed when the temperature was >

基金项目：公益性行业(农业)科研专项(201303024)；河北省自然科学基金项目(C2009001326)

作者简介：路子云，女，1965 年生，河北献县人，学士，副研究员，从事害虫生物防治技术研究，E-mail: luziyun2011@163.com

* 通讯作者 Corresponding authors, E-mail: lijiancheng08@163.com; zhangqingwen@263.net

收稿日期 Received: 2014-06-29；接受日期 Accepted: 2014-09-25

22℃ regardless of the photoperiod. Only a small part of population (6.0% -25.9%) entered diapause at 20℃ under short daylengths of 6L∶18D to 12L∶12D. In contrast, when the larvae were exposed to 16, 18 and 20℃ combined with a photoperiod of 10L∶14D, the percentages of parasitoids that entered pupal diapause were 100%, 89.75% and 29.58%, respectively. The emergence rate and the parasitic ability showed no significant difference between adults emerged from the diapause cocoons stored at 0℃ for 240 d and 5℃ for 180 d and those from the non-diapause cocoons without cold storage ($P>0.05$). After cold storage at 0℃ for 300 d, the emergence rate of the diapause cocoons could still reach to 79%.【Conclusion】Temperature and photoperiod, or their interaction, are the most common diapause-inducing stimuli of the parasitoid. The results of this study would be valuable for mass rearing and storage of diapause cocoons of *M. tuberculifer*.

Key words: *Microplitis tuberculifer*; diapause; diapause induction; photoperiod; temperature; cold storage

管侧沟茧蜂 *Microplitis tuberculifer* (Wesmael)属膜翅目茧蜂科小腹茧蜂亚科侧沟茧蜂属,其寄主包括甜菜夜蛾 *Spodoptera exigua*、斜纹夜蛾 *Spodoptera litura*、粘虫 *Mythimna separata* 等夜蛾科重要农业害虫(屈振刚等, 2004, 2005)。该蜂是单寄生蜂,寄生能力强、世代周期短,田间对甜菜夜蛾等害虫低龄幼虫自然寄生率可达20% ~30%,在害虫造成大量危害前使之丧失取食能力而死亡,对控制甜菜夜蛾等害虫的种群数量和发生危害具有重要作用,是一种利用价值很高的天敌昆虫(王金耀和屈振刚, 2005, 2007)。

我们对管侧沟茧蜂的生物学特性已经展开了一些初步研究,明确了管侧沟茧蜂的寄生行为、寄主范围、寄主大小的选择及生殖能力(王金耀和屈振刚, 2007; 路子云等, 2010; 钟勇等, 2010):管侧沟茧蜂主要寄生甜菜夜蛾、粘虫和斜纹夜蛾等害虫的1 -2龄幼虫,对粘虫 1 -3 龄幼虫的选择系数分别为 0.42,0.54 和 0.05,4 龄以上幼虫很少被寄生,被管侧沟茧蜂寄生的甜菜夜蛾幼虫的取食量明显减少;不同日龄寄生蜂寄生粘虫结果表明 3 日龄雌蜂寄生率最高,中间日龄(3 -6 日龄)雌蜂所产子代雄蜂最重。管侧沟茧蜂在田间自然条件下以蛹在茧中滞育越冬,揭示昆虫滞育规律、繁育滞育虫态天敌、利用干扰昆虫滞育来控制害虫等已成为国内外生物防治工作者研究的热点课题(Denlinger, 2002, 2008; 徐卫华, 2008; Zhang *et al*., 2011)。本研究以 1 -2 龄粘虫幼虫为寄主,研究了在室内和田间自然环境条件下温度和光周期对管侧沟茧蜂滞育诱导作用,旨在为明确影响其滞育诱导的关键因子、人为诱导该蜂进入滞育提供理论依据。

1　材料与方法

1.1　供试寄主

粘虫 *M. separata*,采自保定市玉米田,在室内用玉米苗和人工饲料连续饲养多代,建立试验种群。本实验采用 1 龄末 -2 龄初的粘虫幼虫作为寄主,以幼嫩的玉米苗为饲料饲喂粘虫。

1.2　供试寄生蜂

管侧沟茧蜂 *M. tuberculifer*,来源于保定市郊区菠菜上的甜菜夜蛾低龄幼虫,经室内饲养获得蜂种,已在室内用粘虫连续繁殖多代。,在温度 28 ±1℃、光周期 14L∶10D 光照培养箱中处理管侧沟茧蜂蜂茧使其羽化,成蜂羽化后用 10% 蜂蜜水进行饲喂,放入繁蜂箱(40 cm ×40 cm ×35 cm)内让其自由交配 48 h 后,接入 1 龄末 -2 龄初粘虫供其寄生,寄生 24 h 后的粘虫收入尼龙袋内,每天更换新鲜玉米苗饲喂,直至幼虫钻出寄主体外结茧;饲养条件:温度 26 ±1℃,相对湿度 65% ±5%,光周期 14L∶10D。

1.3　田间条件下温度和光周期对管侧沟茧蜂滞育影响的测定

试验采用田间罩笼的方法,在秋季不同日期分别释放管侧沟茧蜂寄生的粘虫幼虫。释放前在田间标准养虫池内分期播种玉米苗,待幼苗生长至 10 ~15 cm 时,从 8 月 31 日到 9 月 25 日每隔 5 d 释放被寄生的粘虫幼虫。试验重复 3 次,每个重复接入 100 头 1 -2 龄被管侧沟茧蜂寄生的粘虫幼虫。用 60 目尼龙网罩住每个处理,记录当时温度、光照时数等环境因素,统计滞育茧和非滞育茧的数量,明确蜂茧在自然条件下的滞育时期和形成滞育的环境条件。

1.4　室内控制条件下温度和光周期对管侧沟茧蜂滞育影响的测定

实验共设 5 个不同的温度(16, 18, 20, 22 和 24℃)和 7 个不同光周期(6L∶18D, 8L∶16D, 10L∶14D, 12L∶12D, 14L∶10D, 16L∶8D和18L∶6D),计 35 个处理,每处理重复 3 次,每个重复设 40 头幼虫,环境设置温度误差 ±0.5℃,光照强度 4 000 ~

5 000 lx，相对湿度70%～80%。

采用群体寄生的方式，用已经交配好的管侧沟茧蜂雌蜂寄生 1 龄末 -2 龄初粘虫幼虫，寄生 24 h 后装入玻璃瓶中，每瓶放 40 头寄主幼虫，并加入新鲜的饲料，用布封住瓶口防止虫子逃逸。然后置于设定好温度、光照时数、光照强度等条件的培养箱中饲养，直至结茧。观察寄主幼虫的生长和寄生蜂结茧状况，及时更换饲料，最后统计滞育茧与非滞育茧的数量。

1.5 管侧沟茧蜂滞育茧的冷藏贮存及滞育解除

滞育茧的获得：滞育茧是在 16℃，光周期 10L∶14D条件下诱导产生的滞育个体。

滞育茧的贮存方法：将滞育茧放入盛有潮湿细沙的罐头瓶中，湿沙的含水量以 10% 为宜，将罐头瓶置于不同温度的冷藏箱中。试验设 0 ±1℃ 和 5 ±1℃两个温度处理，将上述条件下保存的滞育茧每隔 20 d 取出 100 粒，在温度 28 ±1℃、光周期 14L∶10D 光照培养箱中处理让其羽化，调查茧的羽化期、羽化率和羽化整齐度，明确不同保存温度和时间与羽化率和羽化整齐度的关系。以 80% 的羽化率作为有效保存期的标准，明确滞育茧的抗逆能力(抗寒)、最佳保存条件和贮藏期。管侧沟茧蜂和其他滞育昆虫一样，一旦形成滞育必须经过一段时期的冷藏贮存才能解除滞育。以羽化整齐度(4 d 内羽化率为 70%)作为解除滞育的标准，来明确不同条件下滞育期的长短。

1.6 滞育茧的判断

分别将滞育和非滞育环境条件下获得的管侧沟茧蜂茧置于 28 ±1℃ 和 14L∶10D 条件下，观察其羽化情况，滞育个体的判断应该是在长光照下培养的茧全部羽化后 10 d，短光照下的茧仍然没有羽化的个体定为滞育茧。

1.7 数据分析

数据统计时，首先将滞育率进行反正弦平方根转换转换，然后用 SPSS 中的 ANOVA 进行方差分析，用 Duncan 氏新复极差法检验，比较各处理间的差异水平。

2 结果与分析

2.1 田间条件下管侧沟茧蜂滞育形成与温度及光周期的关系

从表 1 可以看出：在河北省中部地区自然条件下，8 月 31 日寄生的仅有 5.08% 的管侧沟茧蜂蛹进入滞育；9 月 5 日和 9 月 10 日寄生的滞育率分别为 26.20% 和 36.05%，两者间差异不显著($P>0.01$)，但与其他日期滞育率差异极显著($P<0.01$)；9 月 15 日、9 月 20 日和 9 月 25 日滞育率分别为 99.07%，99.70% 和 99.70%，三者之间差异不显著($P>0.01$)，但与 9 月 10 日前寄生的滞育率差异极显著($P<0.01$)。随着寄生日期推迟，气温逐渐降低、光照时间缩短，滞育率逐步提高。当日平均温度下降至 17.3℃、日平均光照时间(指日出和日落之间的时间，下同)为 11 h 48 min 以下时，几乎所有个体都能进入滞育。从寄生至幼虫结茧之间的日期可以看出，幼虫发育历期随温度的降低而增加，由 24.4℃的 10 d 增长到 17.2℃的 20 d。

表 1 田间条件下管侧沟茧蜂滞育形成与温度及光周期的关系

Table 1 Diapause induction of *Microplitis tuberculifer* in relation to temperature and photoperiod in field conditions

释放日期(月-日) Parasitizing date (month-day)	结茧日期(月-日) Date of cocoon formed (month-day)	茧数 Number of cocoons	幼虫历期(d) Larval duration	滞育率(%) Diapause rate	日平均温度(℃) Daily average temperature	日均光照时间 Mean day length
8-31	9-10 - 9-12	296	10 - 12	5.08 ±2.05 C	24.4	12 h 51 min
9-5	9-15 - 9-16	282	10 - 11	26.20 ±1.85 B	24.8	12 h 39 min
9-10	9-21 - 9-24	330	11 - 13	36.05 ±4.46 B	20.9	12 h 23 min
9-15	10-3 - 10-5	324	18 - 20	99.07 ±0.53 A	18.2	12 h 3 min
9-20	10-11 - 10-12	328	21 - 22	99.70 ±0.30 A	17.3	11 h 48 min
9-25	10-15 - 10-16	330	20 - 21	99.70 ±0.30 A	17.2	11 h 36 min

表中数据是平均值 ± 标准差，同列数据后不同字母表示差异极显著(Duncan 氏新复极差法检验，$P<0.01$)。Data in table are expressed as mean ± *SD*, and those followed by different letters within a column are extremely significantly different (Duncan's new multiple range test, $P<0.01$).

2.2 光周期和温度对管侧沟茧蜂滞育诱导的影响

由表 2 可以看出：在室内控制条件下，当温度≤20℃时，8 ～12 h 的短光照诱导了滞育(25.9% ～100%)，而 14 ～18 h 的长光照诱导了几乎 100% 的发育，表明该虫是长日照型昆虫。当温度≥22℃时，所有光周期下的个体均全部发育，表明该虫光周期诱导的滞育是高度温度依赖的。值得提及的是，在非自然的 6 h 短光照条件下，大多数个体在低温条

件下仍然发育(>78%)。由此可知:当光照时数大于或等于 16 h,无论温度怎样变化,管侧沟茧蜂都不会进入滞育;在滞育诱导的光周期范围内,长光照(18L∶6D, 16L∶8D 和 14L∶10D)和短光照(6L∶18D 和 8L∶16D)下的滞育率均很低或不发生滞育。由此可知:当光照时数大于或等于 16 h,无论温度怎样变化,管侧沟茧蜂都不会进入滞育;在滞育诱导的光周期范围内,长光照(18L∶6D, 16L∶8D 和 14L∶10D)和短光照(6L∶18D)下的滞育率均很低或不发生滞育。

2.3　管侧沟茧蜂人工解除滞育及不同保存期与羽化率的关系

表 3 和表 4 分别显示了在温度 16℃,短光照 10 h 下诱导的滞育茧置于 5 ±1℃和 0 ±1℃下处理不同时间后转至温度 28 ±1℃、光周期 14L∶10D 下滞育的解除和成虫羽化率。从表3和表4可以看出,

表 2　室内不同温度和不同光周期条件下管侧沟茧蜂的滞育率

Table 2　Incidence of prepupal diapause of *Microplitis tuberculifer* under different temperature and photoperiod regimes

光周期 Photoperiod	温度 Temperature				
	24℃	22℃	20℃	18℃	16℃
6L∶18D	0.00 ±0.00 Aa	0.00 ±0.00 Aa	6.0 ±5.9 Bb	21.40 ±1.60 Cc	20.9 ±6.00 Cc
8L∶16D	0.00 ±0.00 Aa	0.00 ±0.00 Aa	27.80 ±1.30 Cb	84.79 ±3.60 Ec	96.64 ±1.21 Ed
10L∶14D	0.00 ±0.00 Aa	0.00 ±0.00 Aa	29.58 ±1.24 Db	89.75 ±1.06 Ec	100.00 ±0.00 Ed
12L∶12D	0.00 ±0.00 Aa	0.00 ±0.00 Aa	25.90 ±1.60 Cb	51.3 ±4.82 Dc	62.34 ±1.58 Dd
14L∶10D	0.00 ±0.00 Aa	0.00 ±0.00 Aa	0.00 ±0.00 Aa	3.50 ±1.44 Bb	5.08 ±0.73 Bb
16L∶8D	0.00 ±0.00 Aa	0.00 ±0.00 Aa	0.00 ±0.00 Aa	0.00 ±0.00 Aa	0.00 ±0.00 Aa
18L∶6D	0.00 ±0.00 Aa	0.00 ±0.00 Aa	0.00 ±0.00 Aa	0.00 ±0.00 Aa	0.00 ±0.00 Aa

表中数据是平均值 ± 标准差,数据后大写字母表示同一温度下不同光周期的差异显著; 小写字母表示同一光周期下不同温度的差异显著(Duncan 氏新复极差法检验, $P < 0.05$)。Data in the table are expressed as mean ± *SD*, and those with different capital and small letters are significantly different between photoperiods in same temperature and between temperature in same photoperiod, respectively (Duncan's new multiple range test, $P < 0.05$).

表 3　低温(0 ±1℃)冷藏处理对管侧沟茧蜂解除滞育及羽化的影响

Table 3　Effect of cold storage at the temperature of 0 ±1℃ on diapause termination and emergence of diapause cocoons of *Microplitis tuberculifer*

保存温度(℃) Storage temperature	保存期(d) Storage period	处理茧数 Number of cocoons tested	处理-始羽化时间(d) Period from treatment to the first adult emergence	羽化持续时间(d) Emergence duration	羽化个体数 Number of eclosed individuals	羽化率(%) Emergence rate
0 ±1	20	100	0	0	0	0
0 ±1	30	100	0	0	0	0
0 ±1	40	100	8	16	60	60
0 ±1	60	100	7	12	94	94
0 ±1	80	100	7	9	96	96
0 ±1	100	100	7	8	97	97
0 ±1	120	100	7	7	94	94
0 ±1	140	100	7	6	92	92
0 ±1	160	100	6	6	91	91
0 ±1	180	100	6	6	93	93
0 ±1	200	100	6	6	92	92
0 ±1	220	99	6	6	89	90
0 ±1	240	99	6	6	90	91
0 ±1	260	100	7	7	86	86
0 ±1	280	99	7	6	81	82
0 ±1	300	96	7	6	76	79
0 ±1	320	100	7	6	57	57
0 ±1	340	100	7	8	46	46
0 ±1	360	100	8	7	42	42

表 4 低温(5±1℃)冷藏处理对管侧沟茧蜂解除滞育及羽化的影响

Table 4 Effect of cold storage at the temperature of 5±1℃ on diapause termination and emergence of diapause cocoons of *Microplitis tuberculifer*

保存温度(℃) Storage temperature	保存期(d) Storage period	处理茧数 Number of cocoons tested	处理-始羽化时间(d) Period from treatment to the first adult emergence	羽化持续时间(d) Emergence duration	羽化个体数 Number of eclosed individuals	羽化率(%) Emergence rate
5±1	20	100	–	–	0	0
5±1	30	100	–	–	0	0
5±1	40	100	9	16	56	56
5±1	60	100	7	13	89	89
5±1	80	100	7	8	94	94
5±1	100	100	6	6	94	94
5±1	120	100	6	6	92	92
5±1	140	100	7	4	91	91
5±1	160	100	6	4	93	93
5±1	180	100	7	5	91	91
5±1	200	100	7	6	89	89
5±1	220	100	6	5	85	85
5±1	240	100	6	6	83	83
5±1	260	100	7	6	76	76
5±1	280	100	6	5	58	58
5±1	300	100	7	6	52	52
5±1	320	100	9	6	30	30
5±1	340	100	10	4	9	9
5±1	360	100	19	1	2	2

将管侧沟茧蜂滞育茧保存在温度为 5±1℃ 和 0±1℃ 的冰箱内,保存 20 d 和 30 d 其羽化率均为 0,所有滞育茧均未能解除滞育且不能羽化;在温度为 5±1℃ 和 0±1℃,保存 40 d 其羽化率分别为 56% 和 60%,但羽化持续的天数相对较长(16 d),羽化整齐度较差,解除滞育的深度不够;在温度为 5±1℃ 和 0±1℃,保存 60 d 和 80 d,其羽化率分别为 89% ~ 94% 和 94% ~96%,但羽化持续天数较长(分别为 8 ~13 d 和 9 ~ 12 d);在温度为 5±1℃ 和 0±1℃,保存 100 d,其羽化率分别为为 94% 和 97%,羽化持续的天数分别为 6 d 和 8 d,羽化整齐度相对较高,是解除滞育的最佳时机,从保存 100 d 到 260 d,其羽化整齐度相对较高且比较稳定。从保存时间上看,人工繁育的蜂茧在温度为 5±1℃ 的冰箱内保存 160 d,羽化率能达到 93%;而在 0±1℃ 的冰箱内保存 220 d,其羽化率仍能达到 90%,其后在这两个温度条件下随保存时间的延长羽化率降低,这些试验结果表明 0 ~5℃ 均可较好地保存管侧沟茧蜂滞育蜂茧。

3 讨论

温度、光照和食物等许多环境因素都影响昆虫的滞育(薛芳森等, 2003),Saunders(1981)报道 314 种昆虫的滞育由光周期调控,Beck(1989)认为光周期是欧洲玉米螟幼虫滞育强度的影响因子之一。而 Danks(1987)认为光周期和温度相互作用诱导昆虫的滞育。Vaghina 等(2014)研究认为低温短光照是诱导 *Trichogramma telengai* 滞育的主要因子。邱鸿贵等(1980)报道低温和短光照诱导螟卵啮小蜂 *Tetrastichus schoenobii* 进入滞育,认为在较低温度下,短光照能诱导螟卵啮小蜂滞育,但随着温度的升高,短光照诱导滞育作用逐渐减弱以至消失。朱涤芳等(1992)研究表明低温是诱导广赤眼蜂 *Trichogramma evanescens* 滞育的主要因素,恒温 15℃ 就可以诱导当代该蜂滞育,滞育率在 91% 以上。在此条件下,广赤眼蜂在长、短光照下滞育率差异不显著。Li 等(2008)认为低温和短光照是诱导中红侧沟茧蜂 *M. mediator* 滞育的主要因素,温度起主导作用,光周期只在一定的温度范围内起作用。Chen 等(2012)研究了麦蛾茧蜂 *Habrobracon hebetor* 在低温饲养条件下,光周期对其生殖性滞育的诱导作用。结果表明:在较低的温度条件下,短光照会诱导其生殖性滞育。

本研究结果显示,诱导管侧沟茧蜂进入滞育状

态的一个主要影响因子是外界的环境温度。9 月中下旬，在河北省中部地区田间自然环境下，当日平均温度下降到 17℃、日平均光照时间为 11 h 48 min 时，几乎所有管侧沟茧蜂个体都进入滞育，该结果与浑之英等(2005)报道的有关中红侧沟茧蜂滞育的结果相似，说明田间的低温和短光照是诱导管侧沟茧蜂滞育的主要因素，这与华北地区的气候环境因子相一致。室内控制条件试验进一步验证了上述结果，在 22℃和 24℃，无论光周期如何变化都不能诱导滞育；当温度为 20℃时，开始产生光周期反应，有少数个体进入滞育；当温度降低到 18℃和 16℃时，14～18 h 的长光照诱导了几乎 100% 的发育，表明该虫是长日照型昆虫。而短光照则可以诱导滞育，在 10L:14D 时其滞育率达到最大值。这与李文香等(2008)发现的有关中红侧沟茧蜂滞育诱导的研究结果相一致，正是由于光周期和温度这种相互作用，共同精确地调节着昆虫进入滞育的时间，从而使昆虫能够躲避不良环境的影响而得以繁衍。

Yamane 等(2012)研究了光周期和温度对食蚜瘿蚊 *Aphidoletes aphidimyza* 滞育的诱导作用。在变温条件下(20℃/16℃或 25℃/16℃)，当光照时间为 12.7 h 时，能达到 100% 滞育。而本研究有关温度、光周期在昆虫滞育诱导中的作用的研究都是在恒温条件下进行的，但在田间自然发生的环境条件下白天和夜晚温度变化很大，如果能够模拟田间气候开展变温条件对昆虫滞育影响的研究，所得出的结果可能会更精确和切合实际。此外，本实验仅研究了温度、光周期对滞育率的影响，但是不同温度、光周期还会对昆虫进入滞育的深度有所影响。因此，从管侧沟茧蜂人工大量繁殖和田间释放利用的角度出发，有关滞育昆虫滞育深度、贮藏期、贮藏方法、人工解除滞育技术以及长期贮藏对其生物学特性的影响等有待于进一步研究。

参考文献（References）

Beck SD, 1989. Factors influencing the intensity of larval diapause in *Ostrinia nubilalis*. *Journal of Insect Physiology*, 35: 75－79.

Chen HL, Zhang HY, Zhu KY, Throne JE, 2012. Induction of reproductive diapause in *Habrobracon hebetor* (Hymenoptera: Braconidae) when reared at different photoperiods at low temperatures. *Environmental Entomology*, 41(3): 697－705.

Danks HV, 1987. Insect dormancy: an ecological perspective. Biological Survey of Canada (Terrestrial Arthropods), Ottawa. 105－122.

Denlinger DL, 2002. Regulation of diapause. *Annual Review of Entomology*, 47: 93－122.

Denlinger DL, 2008. Why study diapause. *Entomological Research*, 38: 1－9.

Hun ZY, Wang DA, Lu ZY, Pan WL, 2005. Diapause induction and cold storage of diapause cocoons in *Microplitis mediator* (Haliday). *Acta Entomologica Sinica*, 48(5): 655－659. [浑之英，王德安，路子云，潘文亮，2005. 中红侧沟茧蜂滞育诱导及滞育茧的冷藏. 昆虫学报，48(5): 655－659]

Li WX, Li JC, Coudron AT, Lu ZY, Pan WL, Liu XX, Zhang QW, 2008. Role of the photoperiod and temperature in diapause induction of endoparasitoid wasp *Microplitis mediator* (Hymenoptera: Braconidae). *Annals of the Entomological Society of America*, 101(3): 613－618.

Li WX, Li JC, Lu ZY, Liu XX, Zhang QW, 2008. Critical photoperiod and sensitive stage of diapause induction in *Microplitis mediator* (Haliday) (Hymenoptera: Braconidae). *Acta Entomologica Sinica*, 51(6): 635－639. [李文香，李建成，路子云，刘小侠，张青文，2008. 中红侧沟茧蜂滞育临界光周期和敏感光照虫态的测定. 昆虫学报，51(6): 635－639]

Lu ZY, Zhong Y, Qu ZG, Liu WX, Li JC, 2010. Influence of temperature and nutrition on adult longevity of *Microplitis tuberculifer* Wesmael. *Journal of Hebei Agricultural Sciences*, (8): 75－76. [路子云，钟勇，屈振刚，刘文旭，李建成，2010. 温度和营养条件对管侧沟茧蜂成虫寿命的影响. 河北农业科学，(8): 75－76]

Qiu HG, He LF, Guo PF, Zou XY, 1980. The effects of photoperiod and temperature on the diapause of *Tetrastichus schoenobii* Ferriere. *Natural Enemies of Insects*, (2): 28－31. [邱鸿贵，何丽芬，郭培福，邹祥云，1980. 光照和温度对螟卵啮小蜂滞育的影响. 昆虫天敌，(2): 28－31]

Qu ZG, Wang JY, Zhu LY, 2004. Study on developmental durations, accumulated temperature and developmental zero of *Microplitis tuberculifer* Wesmael. *Acta Agriculturae Boreali-Sinica*, 19(4): 100－101. [屈振刚，王金耀，祝丽英，2004. 管侧沟茧蜂发育历期、发育起点温度及有效积温研究. 华北农学报，19(4): 100－101]

Qu ZG, Wang JY, Zhu LY, 2005. Effects of parasitism by *Microplitis tuberculifer* on food consumption and development of *Spodoptera exigua* larvae. *Acta Agriculturae Boreali-Sinica*, 20(2): 93－96. [屈振刚，王金耀，祝丽英，2005. 管侧沟茧蜂的寄生对甜菜夜蛾幼虫取食和发育的影响. 华北农学报，20(2): 93－96]

Saunders DS, 1981. Insect photoperiodism: the clock and the counter－a review. *Physiological Entomology*, 6: 99－116.

Vaghina NP, Voinovich ND, Reznik SY, 2014. Maternal thermal and photoperiodic effects on the progeny diapause in *Trichogramma telengai* Sorokina (Hymenoptera: Trichogrammatidae), *Entomological Science*, 17(2): 198－206.

Wang JY, Qu ZG, 2005. Selection on host size and reproduction ability of *Microplitis tuberculifer*. *Chinese Journal of Biological Control*, 21(2): 85－87. [王金耀，屈振刚，2005. 寄主龄期和温度对管侧沟茧蜂寄生的影响. 中国生物防治，21(2): 85－87]

Wang JY, Qu ZG, 2007. Study on biology character of parasitize behavior of *Microplitis tuberculifer* Wesmael. *Acta Agriculturae Boreali-Sinica*, 22(2): 149－151. [王金耀，屈振刚，2007. 管

侧沟茧蜂寄生行为生物学特性研究. 华北农学报, 22(2): 149 – 151]

Xu WH, 2008. Advances in insect diapause. *Chinese Bulletin of Entomology*, 45(4): 512 – 517. [徐卫华, 2008. 昆虫滞育研究进展. 昆虫知识, 45(4): 512 – 517]

Xue FS, Hua A, Zhu XF, 2003. Photoperiodic counter in insects and mites. *Acta Agriculturae Universitatis Jiangxiensis*, 25(6): 884 – 889. [薛芳森, 华爱, 朱杏芬, 2003. 昆虫和螨类光周期计数器. 江西农业大学学报, 25(6): 884 – 889]

Yamane M, Yano E, Matsumoto Y, Yoshioka S, Kawai T, Toyonishi H, Nakamura T, 2012. Effect of photoperiod and temperature on the induction of diapause in a Japanese strain of *Aphidoletes aphidimyza* (Diptera: Cecidomyiidae). *Applied Entomology and Zoology*, 47(1): 17 – 26.

Zhang Q, Nachman RJ, Kaczmarek K, Zabrocki J, Denlinger DL, 2011. Disruption of insect diapause using agonists and an antagonist of diapause hormone. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, 108: 16922 – 16926.

Zhong Y, Lu ZY, Qu ZG, Liu WX, Liu XX, Li JC, 2010. Effects of female adult age and parasitism experience on the parasitic rate and offspring of *Microplitis tuberculifer* Wesmael. *Journal of Hebei Agricultural Sciences*, (8): 77 – 79. [钟勇, 路子云, 屈振刚, 刘文旭, 刘小侠, 李建成, 2010. 管侧沟茧蜂雌蜂日龄和寄生经历对寄生率及子代的影响. 河北农业科学, (8): 77 – 79]

Zhu DF, Zhang ML, Li LY, 1992. A study on the diapause and cold-storage technique of *Trichogramma evenescens*. *Natural Enemies of Insects*, 14(4): 173 – 176. [朱涤芳, 张敏玲, 李丽英, 1992. 广赤眼蜂滞育及贮存技术研究. 昆虫天敌, 14(4): 173 – 176]

(责任编辑: 袁德成)